

Tiefengas, eine Energie der Zukunft?

Stahl, Wolfgang J.

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1995 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.79-88



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

WOLFGANG J. STAHL, Hannover

Tiefengas, eine Energie der Zukunft?

Hannover, 12. Mai 1995*

1. Einleitung

Unter dem Begriff Tiefengas wird Erdgas verstanden, das überwiegend aus Methan besteht und dessen Mutter- und Speichergesteine in Tiefenbereichen unterhalb der heutigen Ziele der industriellen Exploration (> 7 km) liegen. In Norddeutschland stammen die in den Formationen vom Oberkarbon und Rotliegenden bis zur Trias auftretenden Gaslagerstätten (Fig. 1) aus organischen Substanzen, die vor etwa 320 Millionen Jahre in oberkarbonischen Sedimenten abgelagert wurden.

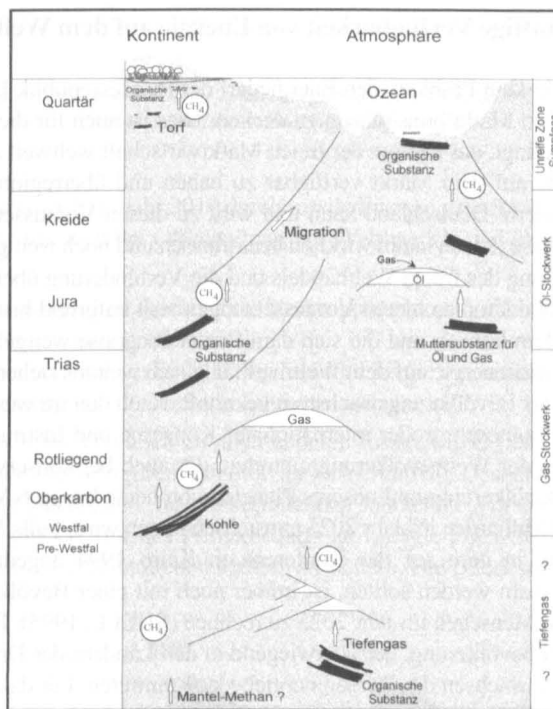


Fig. 1:

Schematische Darstellung der Kohlenwasserstoff-Stockwerke in Norddeutschland

* Zusammenfassung eines Vortrags vor der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Nachdem die Exploration auf Erdöl in der Bundesrepublik eingestellt worden ist und die Förderung aus den noch bestehenden Erdölfeldern nur einen sehr geringen Anteil des deutschen Bedarfs decken kann, werden in naher Zukunft auch die aus dem Oberkarbon sich ableitenden Gaslagerstätten ausexploriert sein. Danach wird die Förderung, die zur Zeit noch immerhin rund 25% unseres Eigenbedarfs decken kann, sehr rasch abnehmen. Falls es nicht gelingt, die Existenz wirtschaftlich interessanter Muttergesteine unterhalb des Oberkarbons und damit auch die Voraussetzungen für Erdgasansammlungen in größerer Tiefe zu konkretisieren, wird der Industriestaat Deutschland in wenigen Jahrzehnten ohne Erdgasförderung aus heimischen Quellen und ohne die sicheren heimischen Reserven an Methan sein, obwohl die Bedeutung des Methans als wichtiger und umweltfreundlicher Energieträger und Chemierohstoff künftig zunehmen wird.

2. Die künftige Verfügbarkeit von Energie auf dem Weltmarkt

Zur Zeit besteht kein Problem, den Energiedarf der Bundesrepublik Deutschland auf dem internationalen Markt preisgünstig zu decken. Dies ist auch für die Zukunft zu erwarten, falls es gelingt, das System der freien Marktwirtschaft weltweit zu stabilisieren, genügend Energie auf dem Markt verfügbar zu haben und überregionale Krisen und Kriege zu verhindern. Deutschland kann und wird zu diesen Voraussetzungen partiell beitragen, kann diese jedoch kaum wirklich beeinflussen und noch weniger durchsetzen.

Die Sicherstellung des freien Welthandels und die Verhinderung überregionaler Krisen und Kriege sind Utopien, deren Voraussetzungen sich aufgrund historischer Erfahrungen rasch ändern können und die sich damit einer Prognose weitgehend entziehen. Der Bedarf an Primärenergie auf dem Weltmarkt läßt sich weitaus sicherer vorhersehen. Er ist primär an das Bevölkerungswachstum geknüpft. Nach den im wesentlichen übereinstimmenden Prognosen großer internationaler Konzerne und Institutionen wird ein weiterer Zuwachs der Weltbevölkerung eintreten, der auch bei konservativer Betrachtungsweise die Bevölkerungszahl unseres Planeten von heute knapp 6 Milliarden Menschen auf etwa 9 Milliarden im Jahr 2025 anwachsen lassen wird. Falls Maßnahmen zur Geburtenkontrolle in dem auf der Konferenz in Kairo 1994 angedachten Umfang international wirksam werden sollten, ist immer noch mit einer Bevölkerungszahl von etwa 8 Milliarden Menschen im Jahr 2025 zu rechnen (SHELL, 1995). Parallel mit dem Zuwachs der Weltbevölkerung, der überwiegend in den Ländern der Dritten Welt stattfindet, wird ein Anwachsen des Primärenergiebedarfs eintreten. Für das Jahr 2010 wird nach einer 1994 veröffentlichten Studie der OECD ein Zuwachs des weltweiten Primärenergiebedarfs um 47%, bezogen auf den Energiebedarf des Jahres 1991, prognostiziert (Fig. 2).

Wie aus der gleichen Studie hervorgeht, ist bis zum Jahr 2010 keine wesentliche Verschiebung der Anteile der verschiedenen Energieträger bei der Deckung des Primärenergiebedarfs zu erwarten (Fig. 3).

Da die Kernenergie an Akzeptanz einbüßt und alternative Energien weltweit nur langfristig entscheidende Beiträge zum Energiekonzept liefern können, müssen etwa 90%

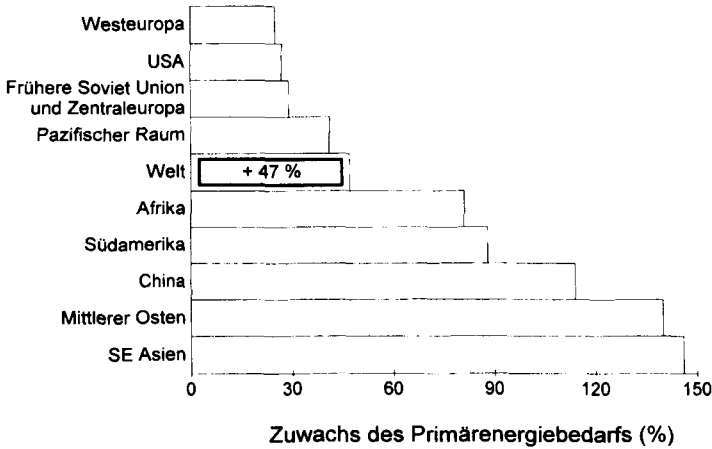


Fig. 2:
Zuwachs des weltweiten Primärenergiebedarfs bis zum Jahr 2010.
Bezugsgröße ist der Energiebedarf von 1991

des Energiebedarfs auch im Jahr 2010 durch fossile Energie gedeckt werden. Aus diesen Prognosen folgt, daß auch bei Offenhaltung des Welthandels und überregionalem Krisenmanagement

- einerseits bei steigendem Bedarf eine Verknappung der fossilen Energieträger auf dem Weltmarkt erwartet werden muß,
- andererseits bei überwiegender Nutzung fossiler Energie mit einem weiteren Anstieg der Kohlendioxidgehalte in der Atmosphäre zu rechnen ist.

Methan hat jedoch im Vergleich zu allen anderen fossilen Energieträgern die höchste Energieeffektivität bei geringstem Ausstoß an Kohlendioxid. Deshalb ist der Industriestaat Deutschland gut beraten, für die kommenden Jahrzehnte Vorsorge zu treffen, um einen möglichst großen Teil des Primärbedarfs an Energie mit wirtschaftlich konkurrenzfähigen und umweltfreundlichen Methan zu sichern. Die Bundesanstalt für Geowis-

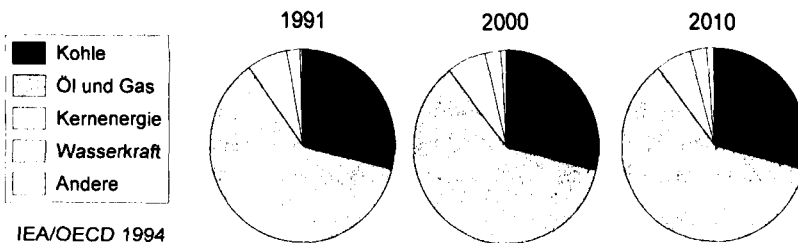


Fig. 3:
Änderung der Anteile der Energiearten am Primärenergiebedarf

senschaften und Rohstoffe hat als Folge dieser Überlegungen ein langfristig angelegtes Forschungsprogramm, das Tiefengasprojekt, initiiert, in dessen erster Phase die Konkretisierung der Existenz von Tiefengasmuttergesteinen erreicht werden sollte.

3. Das Tiefengasprojekt

Das Tiefengasprojekt ist in mehrere Phasen gegliedert. Die Klärung der Frage, ob aktive Muttergesteine in bisher noch nicht explorierten Tiefen im Norddeutschen Becken auftreten, war das Hauptziel der ersten Phase des Vorhabens. In mehreren Folgephasen sollten nach einem mit dem BMBF und der Industrie bereits abgestimmten Konzept der Frage potentieller Speichergesteine nachgegangen werden, Höffigkeitsgebiete eingegrenzt und nach einer durch 3D-Seismik bestimmten regionalen Einengung eine Forschungstiefbohrung auf Tiefengas in sedimentären präwestfalen Schichten niedergebracht werden.

Die erste Phase ist nach einer Laufzeit von knapp 6 Jahren 1995 abgeschlossen worden. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover war mit der Forschungskoordination betraut und deckte, zusammen mit ihrer Außenstelle in Berlin, die Fachgebiete Geologie, Geochemie, Isotopengeochemie, Petrographie und Geophysik ab. Da die potentiellen Muttergesteine in Norddeutschland nur in großen Tiefen vorkommen, in randlichen Bereichen des Beckens aber erbohrt oder oberflächennah faßbar sind, wurden diese thermisch weniger beanspruchten Muttergesteine in das Vorhaben einbezogen. Partner für den skandinavischen Raum waren Geowissenschaftler der Universität Kopenhagen, der britische Bereich wurde von Kollegen des Trinity College in Dublin bearbeitet. Die Universitäten Hannover (Experimentelle Mineralogie), Heidelberg (Edelgase), Bochum (Schwefelisotope) und Leipzig (Theoretische Physik) waren weitere Partner in dem Forschungsverbund. Sieben große, in der Bundesrepublik explorierende Ölgesellschaften, die sich zu einem durch die Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK) koordinierten Industriekonsortium zusammengeschlossen hatten, arbeiteten in dem Vorhaben mit. In die Finanzierung des Projekts teilten sich das Ministerium für Forschung und Technologie mit 7 Millionen DM und das Wirtschaftsministerium mit 6 Millionen DM. Die Industrie beteiligte sich durch wertvolle Beratungs- und wichtige Sachleistungen. Trotz der guten Ergebnisse der jetzt abgeschlossenen 1. Phase konnte der Beginn der nächsten Phase des Projektes wegen der Einengung der finanziellen Spielräume bei der Erdölindustrie und wegen einer übergeordneten Änderung der Förderschwerpunkte im Bereich des BMBF nicht gestartet werden. Kleinere Vorhaben mit direkt umzusetzenden Ergebnissen sollen künftig in direkter Zusammenarbeit mit der Industrie weiterverfolgt werden.

4. Ziele der ersten Phase des Tiefengasprojekts

Der Nachweis der Existenz und die regionalgeologische Lokalisierung aktiver Muttergesteinen in präwestfalen Sedimentschichten (Fig. 4) als Voraussetzung für das Auftreten von Tiefengas war Hauptziel der ersten Phase des Vorhabens.

Darüber hinaus müssen geologische Situationen gefunden werden, bei denen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Präwestfale Muttergesteine
- Geeignete Reife der Muttergesteine
- Migrationsbahnen vom Muttergestein zu den Fangstrukturen
- Fangstrukturen
- Abdichtende Deckschichten.

Während in der bereits abgeschlossenen 1. Phase die Frage der Muttergesteine, ihrer Reifezustände und die Existenz tieffreichender Migrationsbahnen eingehend behandelt wurden, ist der Nachweis guter Fangstrukturen (Speichergesteine, Abdichtung) noch offen.

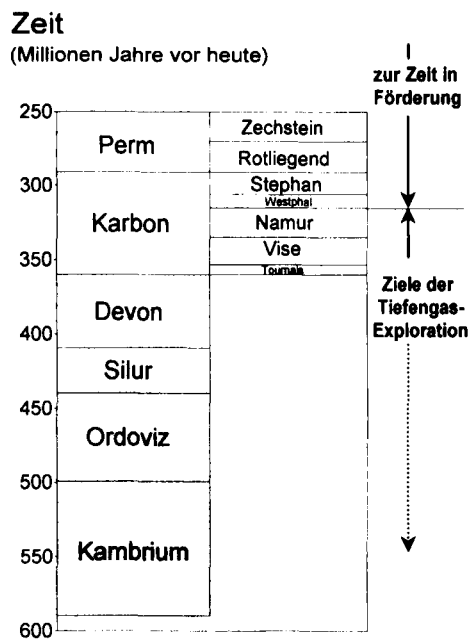


Fig. 4:
Geologische Zeichenskala

5. Ergebnisse der ersten Phase

Die Ergebnisse der ersten Phase sind in umfangreichen, zunächst von der Erdölindustrie noch als vertraulich eingestuften Berichten, dokumentiert. Deshalb können zur Zeit die wichtigsten Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitsgebieten nur kurz und vereinfacht dargestellt werden.

Die struktureologische Auswertung vorhandener und teilweise reprozessierter Seismik ermöglichte erstmals eine beckenweite Analyse des präpermischen Untergrunds des Norddeutschen Beckens (Brückner-Röhling, S. et al., 1994).

Die magnetotellurische Messungen (Hoffmann et al., 1994) lassen in großen Tiefen die Existenz guter Leiter, möglicherweise Schwarzschiefer, erkennen. Schwarzschiefer sind häufig ausgezeichnete Muttergesteine.

Die geologischen Untersuchungen führten zu paläogeographischen Kartierungen, die klar zeigen, daß geeignete präwestfale Muttergesteine weitverbreitet sind (Bandlowa et al., 1995), insbesondere am Nordrand des Beckens. Diese Muttergesteine treten aufgrund der geologischen Situation in Britannien und Skandinavien oberflächennah auf. Sie wurden in Untersuchungen zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehalts präwestfaler Muttergesteine einbezogen, deren Ergebnisse in der Figur 5 dargestellt sind.

Geochemische Analysen (Everlien, 1994) zeigen, daß häufig Gehalte an organischer Substanz in dem für tonige Muttergesteine typischen Bereich zwischen 1 und 10% auftreten. Vergleicht man die Gehalte an organischem Kohlenstoff, die im Westfal, der Gas-

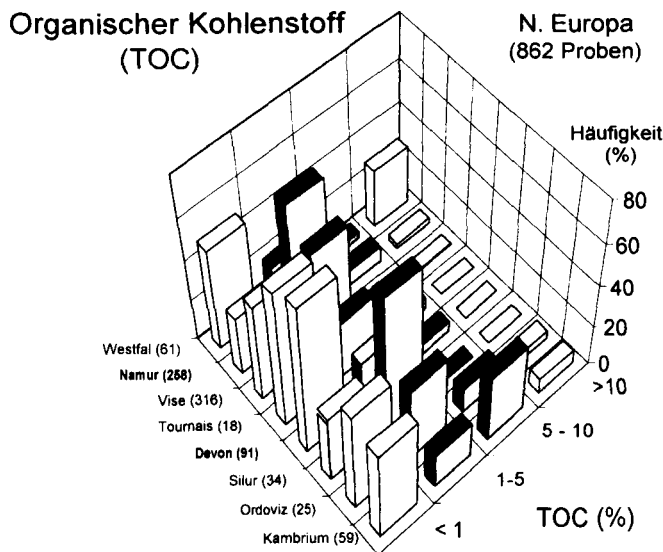


Fig. 5:

Organischer Kohlenstoff in westfalen und präwestfalen Tonsteinen

küche unserer großen Rotliegendelagerstätten, auftreten, mit denen in Kohlenstoff präwestfalen Formationen vom Namur bis zum Kambrium, so sind keinesfalls geringere Mengen an organischen Kohlenstoff im Präwestfal zu beobachten. Die Menge an organischem Kohlenstoff ist kein limitierender Faktor für die Genese von Tiefengas.

Zur Beantwortung der Frage nach der Existenz aktiver Muttergesteine ist neben der Menge an organischer Substanz deren Reife sehr wichtig. Die durch die thermische Beanspruchung entstandene Reife wurde entweder durch die Absenkung der Sedimentschichten über geologische Zeiträume oder durch das Aufdringen von Intrusivkörpern verursacht. Das Ablagerungsmilieu, das den chemischen Aufbau und damit das Kohlenwasserstoffpotential der organischen Substanzen kontrolliert und für die Genese von Öl große Bedeutung hat, ist für Tiefengasmuttergesteine weniger wichtig, da bei hohen Reifen auch marine Muttersubstanzen nur noch Gas bilden können.

Im Verlauf des Vorhabens wurden an vielen potentiellen Tiefengasmuttergesteinen organopetrographische Untersuchungen (Koch 1994a, Koch 1994b) durchgeführt und die Reife über die Messung der Vitrinitreflexion R_O (%) bestimmt. So konnte einerseits ein quantitatives Regionalbild des Reifezustands geologischer Schichten im tiefen Untergrund erhalten und andererseits die für Reifemodellrechnungen notwendigen Kontrollen ermöglicht werden. Diese Arbeiten lassen erkennen, daß für präwestfale Muttergesteine in Norddeutschland mit Vitrinitreflexionen von $2.5\% < R_O < 8\%$ zu rechnen ist. Sowohl die Erfahrungen mit produzierenden Gaslagerstätten als auch die Erkenntnisse aus Pyrolyseversuchen zeigen, daß wahrscheinlich ab etwa 3.5% Vitrinitreflexion das Ende des Gasfensters erreicht ist. Dies bedeutet, daß dann das für die Bildung von Kohlenwasserstoffen notwendige Wasserstoffpotential der organischen Substanzen erschöpft ist. Die Ergebnisse der organischen Petrographie belegen, daß viele potentielle Muttergesteine für Tiefengas in weiten Bereichen Norddeutschen Beckens überreif sind und kein Erdgas mehr bilden können, daß es aber Regionen gibt, in denen durchaus aktive Muttergesteine, d.h. Muttergesteine im Gasfenster, auftreten.

Die tiefenabhängige Temperatur, bei der das Gasfenster endet, ist für alle Überlegungen zum Auftreten übertiefer Gase eine entscheidende Größe, die aber bisher nur ungenau bekannt ist. Verlässliche Daten stammen aus Pyrolyseexperimenten, bei denen der natürliche Gasbildungsprozeß durch das Hochheizen organischer Substanzen ohne Zugabe von Wasser (Trockenpyrolyse) simuliert wurde. Tiefliegende Muttergesteine sind aber hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, die nicht nur die organischen Substanzen, sondern auch die ohne Zweifel vorhandenen Porenfluide beeinflussen. Aufgrund dieser Überlegungen wurden im Verlauf des Tiefengasvorhabens Pyrolyseexperimente in der flüssigen Wasserphase bei Temperaturen $T < 370^\circ$ Celsius durchgeführt. Der in Muttersubstanzen selbst bei hoher Reife noch reichlich vorhandene Wasserstoff (etwa 3 Gewichtsprozent bei $R_{\max} = 4\%$) sollte unter Einwirkung von Wasser und der katalytisch aktiven Mineralsubstanz in Form von Kohlenwasserstoffen abgegeben werden können. Außerdem wurde untersucht, ob das Wasser selbst als Wasserstofflieferant in Frage kommt, wie es thermodynamische Berechnungen für möglich erscheinen lassen. Die Ergebnisse einiger Naßpyrolyse-Experimente (Everlien et al., 1993) sind in Figur 6 dargestellt.

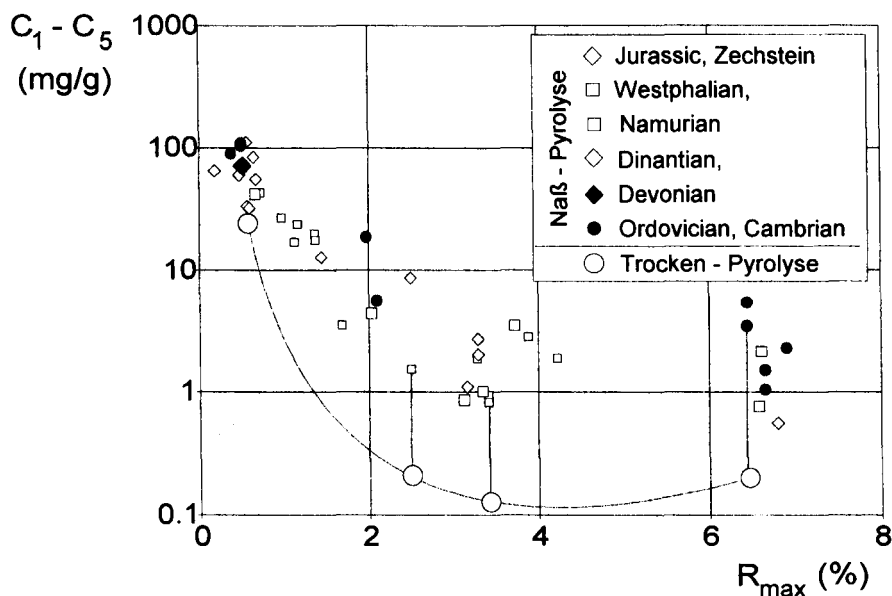


Fig. 6

Vergleich der Kohlenwasserstoffausbeuten (mg Gas / g TOC) von Muttergesteinsproben unterschiedlicher maximaler Reife (R_{max}) bei nasser und trockener Pyrolyse

Man erkennt, daß tatsächlich die Ausbeuten bei der Naßpyrolyse um etwa eine Größenordnung höher als bei der konventionellen Trockenpyrolyse (große offene Kreise) sind. Kohlenstoff-Isotopenanalysen an dem Methan aus der Naß-Pyrolyse hochreifer Muttergesteinen zeigen ^{12}C -angereicherte Kohlenstoffisotopen im Vergleich zu den Isotopenverhältnissen des Methan, das in geringerer Menge aus der Trockenpyrolyse derselben organischen Substanz gewonnen wird. Dies läßt vermuten, daß bei der Naßpyrolyse andere Reaktionsabläufe als bei der Trockenpyrolyse auftreten können. Falls sich diese Laborexperimente näherungsweise auf natürliche Systeme übertragen lassen, würde sich das Erdgasbildungspotential in Gebieten mit hochreifen Muttergesteinen drastisch erhöhen.

Methan ist in dem angesprochenen Tiefenbereich bis 10 km kinetisch stabil, wie physiko-chemische Berechnungen zeigen.

Die Frage, ob es Migrationsbahnen von tiefliegenden Muttergesteinen in oberflächen-nähere Speichergesteine gibt, konnte indirekt positiv beantwortet werden. Es konnte isotopengeochemisch nachgewiesen werden (Gerling et al., 1995), daß Helium mit einem hohen $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnis in einigen der zur Zeit in Förderung befindlichen Erdgase auftritt. Das hohe $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnis ist für Helium charakteristisch, das aus großen Tiefen, vermutlich dem oberen Mantel stammt. Damit ist zumindestens für He die Existenz tiefgreifender Migrationsbahnen aufgezeigt.

Ein indirekter Nachweis von Tiefengas sollte über die präzise Vermessung der Kohlenstoffisotopenverhältnisse des Methans aus allen tiefen Erdgasbohrungen der Bundesrepublik erfolgen. Die Gase stammen überwiegend von Muttergesteinen des Oberkarbons ab, aus deren bekannter Reife das Isotopenverhältnis des aus ihnen hervorgegangenen Methans gefolgert werden kann. Falls Tiefengas existiert, wird es bei offenen Migrationbahnen aus seinen tieferliegenden Muttergesteinen in die untersuchten, in Förderung befindlichen Speichergesteine einwandern, wird sich dem dort befindlichen Gas aus dem Oberkarbon zumischen und dadurch das Isotopenverhältnis des gesamten im Speicher befindlichen Methans leicht modifizieren. Derartige, außerhalb der Norm liegende systematische Verschiebungen des Kohlenstoffisotopenverhältnisses von Methan aus Lagerstätten können als Nachweis für das Eindringen von Tiefengas in die Lagerstätte gewertet werden. Indizien für solch eine Änderung der Kohlenstoffisotopen konnten an Gasen aus dem Bereich der Emsmündung erkannt werden.

7. Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Zusammenschau der dargelegten Ergebnisse führt zu dem Schluß, daß ein großer Bereich der Bundesrepublik Deutschland nicht hoffig für Tiefengas ist und für weitere Untersuchungen ausgeklammert werden kann. Hohe Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten aktiver Tiefengas-Muttergesteine bestehen jedoch in gut abgrenzbaren Gebieten, wie z.B. in Teilen der Deutschen Nordsee, im Emsland und im Bereich der Emsmündung. Damit ist das Ziel der ersten Phase des Tiefengasprojekts voll erreicht worden: Es konnte der Nachweis geführt werden, daß aktive Muttergesteine für Tiefengas existieren. Die Gebiete mit einem Potential für Tiefengas konnten regional eingegrenzt und bewertet werden. Damit sind alle Voraussetzungen für detaillierte künftige Untersuchungen in regional stark eingeeengten Bereichen gegeben. Es besteht die begründete Hoffnung, daß die Bundesrepublik Deutschland in Zukunft, falls dies erforderlich werden sollte, auf die relativ umweltfreundliche Energieform „Tiefengas“ zurückgreifen kann.

Literatur

- Bandlowa, T., Buchardt, B., Clayton, G., Gerling, P., Everlien, G., Kessel, G., Kockel, F., Krull, P., Sevastopulo, G., (1995): Prä-westfale Muttergesteine in Mittel- und Nordwesteuropa. BGR Archivbericht Nr. 112934 (unveröffentlicht)
- Brückner-Röhling, S., Hoffmann, N., Koch, J., Kockel, F., Krull, P., Stumm, M. (1994): Die Struktur-, Mächtigkeits- und Inkohlungskarten des Norddeutschen Oberkarbon- und Permbeckens und seiner Ränder, 1:500 000. BGR Archivbericht Nr. 111531 (unveröffentlicht).
- Everlien, G., (1994): Organisch geochemische und naßpyrolytische Untersuchungen an präwestfalen Muttergesteinen aus Zentral- und NW-Europa. BGR Archivbericht Nr. 112393 (unveröffentlicht).
- Everlien, G., Gerling, P., Koch, J., Wehner, H. (1993): Hydrous pyrolysis of paleo-coal coals and coal shales. 7th Int. Conf. on Coal Science, Banff, Conf. Proc., Vol. II, 409-412. ISBN 0-9697498-0-7

- Gerling, P., Mittag-Brendel, E., Sohns, E., Wehner, H., (1996): Genese und Verteilungsmuster der Erdgase im Norddeutschen Becken. BGR Archivbericht in Bearbeitung.
- Hoffmann, N., Fluche, B., Müller, W. (1994): Erste Ergebnisse von magnetotellurischen Messungen in Norddeutschland. Ein Statusbericht: 15. Kolloquium Elektromagnetischer Tiefensondierung. Höchst/Odenwald.
- Koch, J. (1994a): Organisch petrographische Untersuchungen am Kupferschiefer Norddeutschlands. BGR Archivbericht Nr: 112310
- Koch, J. (1994b): Die mittlere Vitritreflexion (R_p) in Abhängigkeit von der Teufe in Norddeutschland. BGR Archivbericht Nr: 112527
- SHELL (1995): Energie im 21. Jahrhundert. Aktuelle Wirtschaftsanalysen 5 / Heft 25, Deutsche Shell Aktiengesellschaft